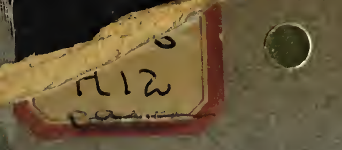
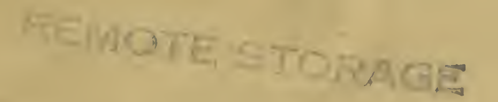
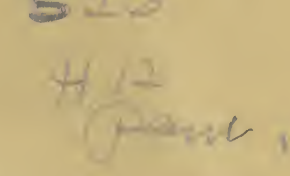


# DIE MODERNEN ZIELE DER ERDMESSUNG.



# DIE MODERNEN ZIELE DER ERDMESSUNG.

## FESTREDE

BEI DEM

FEIERLICHEN AKTE DES REKTORATS-WECHSELS

AN DER

GROSSH. TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZU KARLSRUHE

AM 9. NOVEMBER 1901

GEHALTEN VON DEM REKTOR DES JAHRES 1901/02

DR. M. HAID
GEH. HOFRAT UND PROFESSOR FÜR GEODÄSIE.

KARLSRUHE
DRUCK DER G. BRAUN'SCHEN HOFBUCHDRUCKEREI.
1901.





*Königliche Hoheit!*

*Hochgeehrte Herren, Werte Kommilitonen!*

Die an den Hochschulen herrschende Sitte, das neue Studienjahr durch eine akademische Feier einzuleiten, stellt dem neu erwählten Rektor die ehrenvolle Aufgabe, den Beginn seiner Amtsthätigkeit mit einem Redeakt zu eröffnen. Ich wähle dafür ein Thema aus meiner eigensten Thätigkeit, dem Gebiete der Geodäsie, und bitte Sie, Ihr Interesse für die modernen Ziele der Erdmessung in Anspruch nehmen zu dürfen.

Durch das Streben, die Erscheinungen in der Natur in Einklang zu bringen mit den im Geiste gemachten Vorstellungen, war schon im Altertum der Übergang von der aus den homerischen Gesängen her bekannten Vorstellung der Erdgestalt als einer flachen Scheibe zur Kugelform geschehen. Viel später, erst etwa vor zwei Jahrhunderten, führten bekanntlich die theoretischen Untersuchungen der grossen Forscher Newton und Huyghens zu der Annahme, dass die mathematische Figur der Erde die Gestalt eines Umdrehungskörpers habe, den man sich durch Rotirung einer Ellipse um ihre kleine Axe entstanden denken kann. Diese Annahme eines an den Polen abgeplatteten Rotationsellipsoids fand 50 Jahre später ihre glänzende Bestätigung durch die Resultate der beiden denkwürdigen Expeditionen, welche die Pariser Akademie in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts nach Peru und Lappland gesandt hatte. Aus den vielfachen Messungen, die in den darauf folgenden 100 Jahren an verschiedenen Orten längs der Meridiane ausgeführt worden und die mitunter durch die hohe Vollendung ihrer wissenschaftlichen und technischen Operationen sich auszeichneten, berechnete neben anderen insbe-

sondere der berühmte Königsberger Astronom Bessel die nach ihm benannten und seit 1841 allgemein bekannten Dimensionen der Erde. Neuere Bearbeitungen, welche vor ungefähr 20 Jahren von dem englischen Gelehrten Clarke gemacht wurden, die hauptsächlich auf die grossen, im Laufe der Zeit sehr ausgedehnten Messungen längs des Meridians in Frankreich und England, in Russland und in Ostindien sich stützten, lieferten das bemerkenswerte Ergebnis, dass die Erde grösser und beträchtlich flacher sei, als nach Bessel's Berechnungen. Als nun aber im Jahr 1892 das Resultat der europäischen Längengradmessung[1]), die von der Westküste Irlands bei Valencia über Belgien und Norddeutschland, in Russland von Warschau bis zum Ural längs des Parallelkreises sich erstreckt, bekannt wurde, zeigte sich, dass ihr Resultat mit den neueren Erddimensionen von Clarke völlig unvereinbar ist. Ebenso stellt das erst kürzlich erhaltene Ergebnis der den nordamerikanischen Kontinent überspannenden Längengradmessung[2]) dem Vorzug des Clarke'schen Ellipsoids im Osten einen besseren Anschluss an das Bessel'sche im Westen gegenüber.

Solche Längengradmessungen von Bedeutung, bei welchen es sich um die Bestimmung der Länge eines Parallelkreisbogens und seines geographischen Längenunterschiedes handelt, waren bisher im Vergleich mit den Breitengradmessungen bei denen die Messungen längs der Meridiane erfolgen, wenig zahlreich. Man benützte nämlich noch in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts als Signale bei der Bestimmung des Längenunterschieds die durch Entzünden einer grösseren Menge Schiesspulvers aufleuchtenden, weithin sichtbaren Blitze und konnte auf diese Weise nur zu einem wenig genauen Resultat gelangen. Erst die Anwendung des elektrischen Telegraphen und die weitere technische Ausgestaltung der Methode und Hilfsmittel erhoben die Längengradmessungen auf denselben Rang, den die Breitengradmessungen bis dahin eingenommen hatten. Ein interessantes Beispiel für die Genauigkeit neuerer Längenbestimmungen giebt eine Beobachtungsschleife, die im Jahre 1895

[1]) Die Europ. Längengradmessung in 52° Breite. I. Heft v. Helmert 1893, II. Heft v. Borsch und Krüger 1896.

[2]) The Transcontinental Triangulation and the American Arc of the Parallel. Washington 1900.

durch die Bestimmung des Längenunterschieds Greenwich-Potsdam-Teheran geschlossen wurde. Dieselbe geht von Greenwich über Pulkowa bei Petersburg durch Russland bis Wladiwostok, von da über Shanghai bis Madras und zurück nach Greenwich und zeigt einen Schlussfehler von nur 0,7 Zeitsekunden.[1])

Mit dem Abschluss der europäischen Längengradmessung ist eine schon vor vielen Jahren unternommene Aufgabe erfüllt worden, deren Entwurf auf die fünfziger Jahre und auf den hochverdienten Leiter der Pulkowaer Sternwarte, Wilhelm von Struve, zurückgeht. Engländer, Belgier, Deutsche und Russen haben an der Ausführung dieses grossen Werkes, der Messung eines Parallelkreisbogens in einer Ausdehnung von 4730 km von der irischen Westküste bis Orsk am Ural, teilgenommen. Die Berechnung nur des westlichen Teils, des bis Warschau reichenden Bogens hat die Zeit von zwei Rechnern etwa 8 Jahre hindurch beansprucht. Diese ungefähr 2000 km messende Länge ergab sich mit einer Unsicherheit von nur 2 m, welches günstige Resultat hauptsächlich der von dem internationalen Mass- und Gewichtsbureau zu Breteuil bei Paris in aller Schärfe ermittelten Beziehung der verschiedenen Masseinheiten zu der gegenwärtig so vortrefflich fundirten metrischen Einheit zu verdanken ist. Die Krümmung der Erde längs dieses Parallels ist nun merkwürdiger Weise stärker, als man solche nach den neueren Erddimensionen von Clarke erwarten durfte. Da aber alle grossen, längs den Meridianen geführten Gradmessungen die grösseren Dimensionen für den Erdball bestätigten, so führte die europäische Längengradmessung zur Entdeckung einer enormen kontinentalen Unregelmässigkeit der mathematischen Erdgestalt. Bis dahin kannte man derartige Erscheinungen nicht, und diese Erweiterung unserer Kenntnisse von der Figur der Erde erscheint geradezu epochemachend. Um sie mit der Gestalt des Rotationsellipsoids in Einklang zu bringen, muss man auf die kleinere Abplattung, wie sie Bessel gefunden hatte, wieder zurückkommen. Dies hat aber noch eine ganz besondere Bedeutung.

Die grossen Gradmessungen dienen heutzutage nicht allein dazu, die Dimensionen der Erde zu bestimmen, durch sie allein nur kann,

[1]) Helmert, Konferenz der Internat. Erdm. in Paris 1900. Zeitschrift f. Vermessgw. 1901.

solange die Messung der Schwerkraft auf Schiffen im offenen Meer noch nicht möglich ist, die Wirkung des Gegensatzes von Kontinent und Ocean auf die Gestalt des Meeresspiegels ermittelt werden. In der stärkeren ostwestlichen Krümmung, welche die europäische Längengradmessung für den Westen im Gegensatz zu dem Osten zeigt, kommt unzweifelhaft die Attraktionswirkung der Kontinentalmassen zum Ausdruck; doch müsste diese Krümmung noch viel stärker sein, falls eine dem europäischen Kontinent entsprechende Masse wirksam wäre. Es erscheint daher der europäische Kontinent durch unterirdische Massenanordnung zum Teil kompensirt. Die meridionale Krümmung der Erde innerhalb Europas kann man längs dreier Richtungen verfolgen, einmal längs des englisch-französischen Meridianbogens von den Shetlandsinseln bis Algier; dann längs eines Streifens von Dänemark durch Deutschland, Österreich und Italien bis Carthago und längs der v. Struve'schen Gradmessung von Skandinavien bis zur Donaumündung.

Es zeigt sich, wie in der Nähe der Shetlandsinseln, bei der Annäherung an ausgedehntere Festlandsmassen ebenfalls eine stärkere Krümmung, insbesondere aber sind die Meridiane im Westen Europas stärker gekrümmt als im Osten, ja es ergiebt sich, und es ist dies erst vor wenigen Jahren gefunden worden, dass die Axen der elliptischen Meridiane successive gegen Osten immer mehr gegeneinander verdreht sind.[1]) Hierhin liegt ebenfalls eine teilweise Wirkung der Kontinentalmassen Europas. Einen vollständigen Einblick in die Gesamtwirkung des eurasischen Kontinents wird erst die Zukunft bringen, wenn das europäische Dreiecksnetz mit demjenigen im asiatischen Russland und dieses über die zentralasiatischen Hochländer mit der ostindischen, vom Kap Comorin bis zum Himalaya sich erstreckenden Gradmessung verbunden sein wird. Schwierigkeiten bietet hier weniger die Grösse der Entfernung als die unserer Kultur noch feindlich gesinnten innerasiatischen Kulturzustände.

Gegen Schluss des vergangenen Jahres sind die Resultate auch der nordamerikanischen Längengradmessung erschienen, die im Jahr 1871 begonnen wurde und die von der atlantischen Küste bis San Francisco am Stillen Ocean in einer Ausdehnung von über 4200 km

[1]) Verhandl. der Internat. Erdm. in Paris 1900.

den ganzen Kontinent durchquert. Sie dient zugleich der Landesvermessung als Grundlage und weist bezüglich ihrer Anlage ganz besondere Verhältnisse auf. Ihre Observatorien gehen bis über 4000 m Meereshöhe hinauf, auch hat sie in Bezug auf die grösste gegenseitig beobachtete Entfernung den bis jetzt höchsten Reccord mit nahezu 300 km erreicht und dadurch die bis dahin grösste Länge bei der Verbindung von Spanien mit Algier um 24 km übertroffen. Dieser transkontinentale Parallelbogen zeigt eine sehr ungleichmässige Krümmung; sie ist viel unregelmässiger als es bei der europäischen Längengradmessung der Fall ist, die nur in den Kontinent eindringt, ohne ihn zu umspannen.

Es besitzt darnach die Erdgestalt in der Richtung der Parallelkreise eine viel grössere Unregelmässigkeit als in der Richtung der Meridiane; ein Ergebnis, das vielleicht nicht ohne Zusammenhang ist mit dem allgemeinen, charakteristischen, meridionalen Aufbau der Kontinente. Zur Erklärung dieses Gegensatzes — geringe Gestaltsabweichungen im Sinne der Merdiane, grössere Deformationen in der Richtung der Parallelkreise — kann nur der innere Bau des Erdkörpers herangezogen werden. Ob dereinst wohl die von dem Amerikaner Preston[1]) ausgesprochene Vermutung, die Gestalt der einschrumpfenden Erdrinde habe wie Gummikugeln, die in Wasser getaucht sind, eine mehr pyramidenartige Gestalt sich bestätigen wird, etwa mit der Basis im Norden, der Spitze am Südpol und den Kanten entlang den kontinentalen Erhebungen? Berechnet man nach den neueren Messungen die Höhenabweichungen der in die Kontinente hinein fortgesetzt gedachten Niveaufläche des Meeres von einem passend liegenden Ellipsoid, so ergeben sich hiefür Beträge bis zu 100 m[2]). Für den Ocean dürften diese Höhenstörungen ebenfalls innerhalb dieses Betrages bleiben. Noch in den siebenziger Jahren waren hiefür Erhebungen innerhalb des Festlandes und Depressionen der Meeresfläche bis zu 1000 m berechnet worden. Von der Möglichkeit einer Kompensation durch unterirdische Ungleichmässigkeiten in der Massenverteilung hatte man damals noch kaum Kenntnis.

---

[1]) E. D. Preston, Recent Progress in Geodasy Philos. Soc. of Washington, Vol. XIII. 1899.

[2]) Helmert, Neuere Fortschritte i. d. Erkenntnis der math. Erdgestalt, Geograph. Zeitschrift. 1900.

Alle diese Ergebnisse zeigen klar den inneren Zusammenhang der geodätischen und geophysikalischen Untersuchungen. Sie erheben aber auch gerade die grossen Gradmessungen auf ihre volle Bedeutung. So ist denn auch ein eifriges Streben rege, grosse Gradmessungen zur Ausführung zu bringen. Auf dem amerikanischen Kontinent sind mehrere solche Unternehmungen im Gange, so in den Vereinigten Staaten, in Mexico und in Peru. Hier haben die Franzosen in diesem Jahre die Gradmessung, die seinerzeit für den Nachweis der polaren Abplattung des Erdballs entscheidend war, welche aber jetzt nur mehr historischen Wert noch besitzt, von neuem begonnen mit einer beträchtlichen Ezweiterung nach Norden und Süden. Der Zusammenschluss der amerikanischen Messungen, in meridionaler Erstreckung vom Kap Horn bis zum arktischen Archipel, wird den längsten Bogen umfassen, welcher auf der Erde genommen werden kann und der reiches Material für die Erforschung des nordsüdlichen Aufbaues des Kontinents liefern wird. Auch für die alte Welt besteht ein ähnliches Projekt: Die Messung des Bogens vom Kap durch Afrika bis zum Delta des Nils und die Verbindung dieses Bogens mit der bekannten, auf dem gleichen Meridian verlaufenden russisch-skandinavischen Gradmessung. Im Kaplande und in Rhodesia sind hiefür beträchtliche Strecken schon gemessen. Nördlich des Zambesi bis Bahr-el-Gazal durchschneidet dieser Meridian ein interessantes Gebiet, den grossen, den Geologen wohlbekannten Grabenbruch, der mittelafrikanischen Seeen, der sich nach Norden durch das Rote und bis zum Toten Meer erstreckt. Zu den Messungen im Nilthal werden in der Levante noch die Verbindungsstrecken längs den Küsten des Mittelmeeres hinzutreten. Eine ununterbrochene Kette von Dreiecken wird das Kap Agulhas mit dem Nordkap verbinden. Hoch im Norden geht ferner eine Gradmessung ihrer Vollendung entgegen, die gemeinschaftlich von Schweden und Russland auf Spitzbergen unternommen worden ist und die infolge ihrer Lage in der glacialen Region besondere Schwierigkeiten bei der Ausführung bietet.

Was immer auch die ursprüngliche Gestalt der Erde war, seitdem ihre äussere Decke in die Periode des Schrumpfens gelangt ist und allmählig zusammenbricht, erleidet die Figur ihrer Oberfläche Deformationen, die auch heute noch fortschreiten. Solche Deformationen kommen durch die Störungen zum Ausdruck, welche die

thatsächliche Richtung und Intensität der Schwerkraft gegenüber ihren normalen Werten zeigt. Solche Störungen in der Richtung der Schwere, die man Lotabweichungen nennt, sind unter anderen im Anschluss an die europäische Längengradmessung von Bonn aus das Rheinthal aufwärts für Mannheim, Strassburg, den Rigi, dann für die Alpen am Simplon und weiter für Mailand, Turin, Genua und Nizza, ferner einerseits bis zum Pfänder bei Bregenz und andererseits über Bern bis Genf und über Paris bis Brest vor ungefähr 3 Jahren berechnet worden[1]). Ganz beträchtliche Störungen in der Lotrichtung ergaben sich für Mailand gegen den Simplon, als auch von Mailand, Genua und Nizza gegen Turin. Es spricht sich hierin die Wirkung der Alpen aus. Dagegen erreicht die Lotabweichung für Mannheim, Strassburg, Bern, Genf und Paris nur geringe Beträge. Auch im Wiener Meridian sind solche Bestimmungen vorgenommen worden. Gefördert durch die Arbeiten in Italien und im nördlichen Afrika, das früher bereits über Spanien und nun neuerdings durch italienische Geodäten von Sicilien aus über Malta und Tunis mit Europa geodätisch verbunden worden ist, wird es bald möglich werden, rund um das Mittelländische Meer die Bestimmung der Lotabweichungen zu führen. Zu diesen werden sich noch jene an den Gestaden Kleinasiens und Egyptens gesellen, wenn dereinst die erwähnte grosse europäisch-afrikanische Gradmessung zur Ausführung gebracht sein wird. Ähnlich werden die grossen geodätischen Unternehmungen in den Vereinigten Staaten, in Mexiko und in Südamerika die Grundlage legen, die Lotabweichungen um den mexikanischen Meerbusen und das Caraibische Meer zu bestimmen. Diese Resultate werden von besonderem Interesse sein für die Bedeutung der Mittelmeere. Hat doch das Mittelmeer der alten Welt analoge geologische Verhältnisse aufzuweisen, wie dasjenige des amerikanischen Kontinents.

Auch für praktische Zwecke, für die Lösung grosser Aufgaben des Ingenieurs können Untersuchungen über Lotabweichungen nicht mehr entbehrt werden. So ist am Simplon bei der Bestimmung der Richtung der Tunnelaxe hierauf Rücksicht genommen worden, um einem Zusammentreffen in der Mitte auf 4—5 cm Differenz mit Ruhe entgegensehen zu können[2]).

---

[1]) Berechnung für d. europ. Lotabweichungssystem von Prof. Börsch und Prof. Krüger. Verhandl. der Internat. Erdm in Stuttgart 1898.

[2]) Procès-Verbaux de la Comm. Geod. Suisse 1899.

Unabhängig von der Bestimmung der Lotabweichungen, welche sich auf die Störungen in der Richtung der Schwerkraft beziehen, werden auf ganz anderem Wege die Störungen in der Intensität der Schwere ermittelt. Diese ergeben sich durch Vergleichung der unmittelbaren Messung mit dem theoretischen Wert der Schwerkraft. Der Ermittlung der letzteren liegen Schwerkraftmessungen zu Grunde, die möglichst über die ganze Erde zerstreut sein sollen. Die Ausführung solcher Messungen wird dadurch erleichtert, dass nur an wenigen günstig gelegenen Hauptstationen der absolute Wert, für alle übrigen Orte dann der Unterschied der Schwerkraft gegen eine Hauptstation zu bestimmen ist. Dafür muss aber die Methode der Beobachtung möglichst scharf sein, um feinere Unterschiede noch mit Bestimmtheit nachweisen zu können. Man benützt dazu kleine Pendel und bestimmt die Schwingungsdauer derselben, das ist die Zeit, die von einer seitlichen Lage des Pendels bis zur anderseitigen verstreicht. Gegenwärtig ist die Beobachtungsmethode soweit ausgebildet, dass die Dauer der sehr kleinen Schwingungen auf den millionsten Teil einer Zeitsekunde scharf bestimmt werden kann.

In den ersten Decennien des vergangenen Jahrhunderts waren es besonders Franzosen und Engländer, welche auf Inseln, an Meeresküsten und im Festlande Messungen der Schwerkraft ausgeführt haben. Als dann das Interesse sich mehr den Gradmessungen zuwandte, und es fast den Anschein hatte, als ob die Erdmessung eine reine Aufgabe der Mathematik werde, war die Ausführung von Pendelbeobachtungen zeitweise ganz vernachlässigt worden. Erst vom Ende der 80er Jahre ab, als Herr v. Sterneck einen für Reisebeobachtungen vorzüglich geeigneten Apparat erstellt hatte, nahmen die Pendelbeobachtungen einen grossen Aufschwung.

Noch im Jahre 1884 konnte Professor Helmert für die Bestimmung der Abhängigkeit der Schwerkraft von der geographischen Breite die Messungen von nur 122 Stationen benutzen.[1]) Diese Zahl ist in 1891 auf 350, in 1895 auf 860 gestiegen und Ende vergangenen Jahres lagen Messungen von 1 395 Stationen vor. Darunter sind auch die beiden Messungen mit inbegriffen, die auf Nansen's Nordpolfahrt in 84° und 86° geographischer Breite auf

[1]) Helmert. Die Theorien der höheren Geodäsie II. Th.

fest eingefrorenem Schiff gemacht werden konnten. Zur Verwertung des gesamten Materials fehlte noch ein befriedigender Zusammenhang. Dieser wurde erst in den letzten Jahren gewonnen, wobei es sich um die Verbindung der europäischen Hauptstationen unter sich und dieser mit den nordamerikanischen und mit Japan handelte. Auf Grund des grössten Teils der im 19. Jahrhundert gewonnenen Messungen hat Professor Helmert im Frühjahr dieses Jahres einen mathematischen Ausdruck für den theoretischen Wert der Schwerkraft von neuem abgeleitet.[1]) Dabei wurden auch die Resultate berücksichtigt, zu welchen man vor kurzem bei Annahme einer hydrostatischen Schichtung der Erdmasse gelangte. Durch diese letztere Erweiterung kommen die Ergebnisse der Schwerkraftmessungen an den Küsten in bessere Übereinstimmung mit jenen, weiter im Festlande gelegener Stationen; doch wird eine Unregelmässigkeit zwischen 20° und 30° geographischer Breite, welche auch schon die frühere Ableitung zeigte, nicht aufgehoben, obschon zu den älteren Werten aus Vorderindien und Amerika jetzt noch 18 Messungen an der Küste des Roten Meeres, 1 aus Ostasien und je 4 aus Westafrika und Amerika hinzugetreten sind. Eine Ungleichheit der nördlichen und südlichen Erdhälfte, wie solche Iwanow[3]) in seinem 1898 ermittelten Ausdruck gefunden zu haben glaubte, kann dagegen hieraus nicht nachgewiesen werden.

Aus der Zunahme der Schwerkraft vom Äquator bis zu den Polen kann man nach einem Theorem, das der französische Mathematiker Clairaut bereits in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts gefunden hatte, die polare Abplattung des Erdballs ebenfalls berechnen. Auf diesem Wege gelangt man zu einem von den Gradmessungen ganz unabhängigen Resultat. Helmert's Rechnungen ergeben nun einen Wert, der nur wenig grösser ist als der von Bessel aus den Gradmessungen abgeleitete. Diesem Resultat gegenüber verschwindet immer mehr das Vertrauen zu der von Clarke erhaltenen allzu grossen Abplattung der Erde. So klein auch diese Unterschiede der Abplattung ihrem Betrag nach erscheinen mögen, es kommt nicht

---

[1]) Helmert. Der normale Teil der Schwerkraft im Meeresniveau. Sitzungsber. d. Berliner Akad d. Wiss. 1901.

[2]) A. Iwanow De l'influence des termes du 3me ordre etc. Bulletin de l'Academie Impériale des Sciences de St. Petersbourg 1898.

bloss auf die äussere Übereinstimmung des aus den Gradmessungen und aus den Schwerkraftsmessungen erhaltenen Resultats an, sondern die Grösse der Abplattung innerhalb dieser kleinen Unterschiede fällt sehr ins Gewicht bei der Entscheidung über die Möglichkeit von Hypothesen und Spekulationen, welche den Zustand des Erdinnern betreffen.[1])

Die Verteilung der Schwerkraftsmessungen auf der Erde[2]) ist noch eine sehr ungleichmässige. Die grösste Anzahl weist Europa auf, dann ist es Nordamerika und Japan, die eifrig die Ausführung von Schwerkraftsmessungen unterstützen. Die österreichische Marine hat an vielen Stationen beobachtet, unter anderen auch am Roten Meere. In Ergänzung dieser letzteren ist von deutscher Seite vor 3 Jahren eine Expedition nach Deutsch-Ostafrika gesandt worden. Die deutsche Marine hat an der Westküste Afrikas von Kamerun bis zum Kap der guten Hoffnung an 20 Orten die Grösse der Schwerkraft gemessen. In den arktischen Regionen sind Pendelbeobachtungen kürzlich von Dänemark und auf Spitzbergen in Verbindung mit der dortigen Gradmessung ausgeführt worden. Hoffentlich gelingen die Messungen, welche die kürzlich ausgesandte deutsche Südpolarexpedition in Aussicht stellt; denn weil aus der Antarktis überhaupt noch keine Beobachtungen vorliegen, gewinnen diese eine ganz besondere Bedeutung.

Aus den Störungen in der Intensität der Schwerkraft ergeben sich durch Rechnung zunächst ideelle, störende Massen. Diese hat man sich in der Höhenlage des Meeres unter dem betreffenden Ort kondensirt zu denken. Um über die Lagerung der wirklich störenden Massen Aufschluss zu erhalten, müssen die Resultate der Lotabweichungen sodann noch andere Thatsachen oder Hypothesen aus den Gebieten der Geologie und Geophysik herangezogen werden.

In Mitteleuropa, wo die Verhältnisse im verflossenen Decennium am meisten durchforscht wurden, hat die Schwerkraft an den Küsten Englands und im nördlichen Frankreich nahezu normalen Wert, während in Jütland und unter der Insel Bornholm ein ziemlich

[1]) E. Wiechert. Ueber die Massenverteilung im Innern der Erde Nachr. d K. Ges. d. W. zu Göttingen 1897

[2]) Verhandl. d. Intern. Erdm in Berlin 1895 u. in Stuttgart 1898, ferner I. B. Messerschmidt. Die Verteilung der Schwerkraft auf der Erde. Geograph. Zeitschrift 1901.

erheblicher Massenüberschuss besteht, der wahrscheinlich unter der ganzen Ostsee sich hinzieht und in die norddeutsche Tiefebene, so nach Pommern unter die pommer'sche Seeenplatte sich verzweigt. Südlich davon treffen wir unter dem Thal der Netze auf Massendefekte, die gegen Westen zu verschwinden scheinen. In ost-westlicher Richtung durchzieht dann Norddeutschland ein ziemlich mächtiges, unterirdisches Gebirge, das, soweit bis jetzt die Forschungen reichen, vom Harz und nördlich davon unter der Elbe bis zur Oder und dem nördlichen Vorland des Riesengebirges sich erstreckt. Unter letzterem zeigt sich ein beträchtlicher Defekt im Gegensatz zum Harz, dessen Massen nicht kompensiert sind[1]). Aus dem oft ziemlich rasch verlaufenden Wechsel der ideellen Störungsmassen darf man schliessen, dass die wirklichen Massenunregelmässigkeiten zwar nicht nahe der Oberfläche, aber auch nicht tiefer als vielleicht 20—30 km liegen. Merkwürdig ist das Vorkommen von Salzlager oder Soolquellen an jenen Stellen, wo die störenden Schichten nur gering sind, so bei Oldesloe in Holstein, südlich von Kiel, bei Freden im Leinethal, bei Langensalza in Thüringen, und dieselbe Erscheinung treffen wir auch bei Rheinfelden, da, wo im Rheinthal Jura und Schwarzwald zusammentreffen. Interessant ist das Resultat der Messungen in dem Gebiet der Alpen[2]). Unterhalb der Berner Alpen und des St. Gotthard beträgt der ideelle Massendefekt etwa 1200 m, nach Osten hin wächst er noch mehr und erreicht im Engadin den grössten in den Alpen bis jetzt konstatirten Betrag von 15—1600 m. Zur Erklärung dieses grossen Defekts würde es genügen, für diese Schichten eine etwas geringere Dichte als für die sie umgebenden Erdmassen anzunehmen. Unter dieser Voraussetzung würde die Auflockerung bis zu einer Tiefe von 200 km in die Erdkruste hinabreichen. Die Ausdehnung des Defekts ist östlich unter dem Brenner bis zum Semmering nachgewiesen worden; hier verliert er allerdings bedeutend an Mächtigkeit und bildet gleichsam einen östlichen Ausläufer des grossen Alpendefekts. Auf der Nordseite der Schweizer Alpen, vom Senkungsgebiet zwischen Freiburg und dem Genfersee an, wo die Schwerkraft normalen Wert besitzt, bis zum Bodensee

---

[1]) Intensität der Schwerkraft im Meridian Kolberg-Schneekoppe 1896 und Hadersleben-Koburg 1899. Publik. d. K. Geodät. Inst.

[2]) J. B. Messerschmidt, Das Schweizerische Dreiecksnetz Band 7 und 9. Zürich 1897 und 1901.

erstreckt sich unter der schweizerischen Hochebene ein Defekt in nahezu gleichmässiger Stärke. Vom Überlinger- und Unter-See ausgehend verzweigt sich derselbe nach dem Hegau und der Baar und reicht allmählig abnehmend unter dem Schwarzwald bis zum Feldberg[1]). Hier beginnt das Pendel die Spuren jener gewaltigen Massen anzudeuten, die einst vor Millionen Jahren bei der Bildung des Rheinthals durch den Einsturz des den Schwarzwald mit den Vogesen verbindenden Gebirgsgewölbes in die Tiefe hinabsanken; denn zwischen Feldberg und Schauinsland beginnt eine Massenanhäufung, die bis Freiburg stark zunimmt, unter dem Kaiserstuhl bis Breisach anhält, unter dem Rhein bis gegen Colmar sich abschwächt, unter den Vogesen aber wieder beträchtlich anwächst[2]) Der Jura tritt bei der Intensität der Schwere gar nicht hervor; wie der Harz im Norden Deutschlands ercheint auch der Jura nicht kompensirt, und trotz der kolossalen Mächtigkeit seiner Kalkschichten dürfte er nicht tief in die Erdkruste hineinreichen. Bei seiner Entstehung sind weit schwächere Kräfte thätig gewesen als bei der Bildung der Alpen, wo das Übergreifen ihres steilen Südabhangs über die Massenanhäufung auf die Richtung von Süd nach Nord wirkender Schubkräfte hindeutet. Auch beim Schwarzwald folgt aus der Lage seines westlichen Steilabfalls über dem Massenüberschuss, dass hier beim Einbruch des Rheinthals ostwärts gerichtete Schubkräfte thätig waren.

Ganz ähnliche Verhältnisse sind in dem Einsturzgebiet der Adria und des Roten Meeres gefunden worden, wo durch Messungen auf den Inseln ein sehr starker Massenüberschuss konstatirt wurde, der nach den Küsten zu abnimmt. Der Gebirgsstock des Sinai, der Golf von Akabah und die angrenzenden Gebirge der arabischen Küste sind an dem Massenüberschuss wenig oder gar nicht beteiligt. Diese Einsturzgebiete sind als solche der Geologie wohl bekannte Regionen; die zahlenmässige Feststellung der Grösse und Ausdehnung dieser Gräben, die wie tiefe Narben das Antlitz der Erde durchziehen, ist eine Errungenschaft der modernen Geodäsie. Analog wie die Faltengebirge gegenüber ihrer kontinentalen Umgebung

[1]) Bericht über die in Baden ausgeführten Pendelbeob. Verhandl. d. Internat. Erdm. in Stuttgart 1898.

[2]) Nach Mitt. d. H. Prof. Becker in Strassburg über die im Elsass i. J. 1900 ausgeführten Pendelbeob.

mehr oder weniger kompensirt erscheinen, ähnlich ergab sich für das Innere des nordamerikanischen Kontinents eine Kompensation durch Defekte. Eine solche Durchquerung durch eine Reihe von Stationen würde eine ganz besondere Bedeutung gewinnen für den weit mächtigeren kontinentalen Komplex von Europa-Asien.

Im Gegensatz zu diesen Aufbauschungen der Erdrinde, wie man alle grösseren mit Dichtigkeitsverminderungen oder Massendefekte verbundenen Erhebungen betrachten könnte, verhalten sich die vulkanischen Gebiete. In einem Querschnitt durch die appenninische Halbinsel bei Neapel wird überall Massenüberschuss gefunden, der seinen grössten Wert bei Ischia erreicht. Noch bedeutender sind die bis jetzt grössten bekannten Störungswerte der Schwerkraft auf den vulkanischen Sandwich-Inseln. Hier auf der Insel Hawai ist für die Kuppe des 4000 m hohen Manna Kea die Störung 7 mm, auf dem 3000 m hohen Haleakala der Insel Mani 5,4 mm, Beträge, die im entgegengesetzten Sinne ungefähr 4 mal so gross sind als die Störungen im Engadin. Diese Lavaberge sind unterirdisch nicht kompensirt und infolge des Kontakts mit dem Erdinnern leiten sie aus beträchtlicher Tiefe die Ursache ihrer Entstehung her. Die Attraktion dieser Bergkolosse weist auch die grösste bisher auf der Erde beobachtete Störung in der Richtung der Schwerkraft auf. Schwerestörungen und Lotstörungen, auf gleichen Ursachen basirend und sich gegenseitig kontrollirend, gehen parallel neben einander her und eine Aufgabe der Zukunft wird es sein, die Beziehungen beider für die Ermittlung der Massenlagerung noch weiter auszunutzen.

Auf den oceanischen Inseln erscheint eigentümlicherweise überall die Schwerkraft zu gross gegenüber ihrem theoretischen Werte, und aus der Attraktion der Inselpfeiler allein ist dies nicht zu erklären. Dies Verhalten lässt annehmen, dass auch auf den offenen Meeren gleiche Verhältnisse wie auf den Inseln statthaben. Wenn es nun künftig gelingen wird, und Versuche dazu sind im Werke, auch auf Schiffen in offener See Messungen der Schwerkraft mit entsprechender Präzision auszuführen, dann steht eine sehr wesentliche Vervollkommnung unserer Kenntnis über die Erdfigur, wie auch unserer Einsicht in die Massenverteilung und in den Aufbau der Erdkruste zu erwarten. Die Zukunft der Messungen der Schwerkraft liegt demnach auch auf dem Wasser!

Bis vor wenig mehr als $1^1/_2$ Jahrzehnt nahm man allgemein an, dass die Axe, um welche die Erde ihre tägliche Umdrehung vollzieht, mit der Axe der Erdfigur vollständig übereinstimme. Euler hatte zwar schon um die Mitte des 18. Jahrhunderts die Möglichkeit von kleinen periodischen Veränderungen in der Lage der Erdaxe nachgewiesen, aber bis weit über die Mitte des verflossenen Jahrhunderts waren alle Versuche gescheitert, durch einwandfreie Messungen solche kleine Verschiebungen der Umdrehungsaxe im Erdkörper festzustellen. Selbst Bessels Bemühungen wurden nicht von dem Erfolg gekrönt, zu einem entscheidenden Resultat zu gelangen, obwohl er in einem Brief an Humboldt am 1. Juni 1844 schrieb: »Ich habe Verdacht gegen die Unveränderlichkeit der Polhöhe . . . . Ich denke dabei an innere Veränderungen des Erdkörpers, welche Einfluss auf die Richtung der Schwere erlangen«. Neuere theoretische Untersuchungen[1]) zeigten, dass bei völliger Starrheit des Erdkörpers selbst grosse geologische Veränderungen die Pole nur um ganz geringe Beträge zu verschieben vermögen, dass dagegen bei Annahme einer gewissen Plastizität der Erde, die eine verzögerte Anpassung ihrer Form an eine veränderte Massenverteilung erlaube, geologische Veränderungen ausreichend erschienen, um ziemlich beträchtliche Bewegungen der Pole zu veranlassen. In noch viel höherem Masse würden derartige Bewegungen eintreten, falls das Erdinnere einen mehr oder weniger flüssigen, eine unmittelbare Anpassung zulassenden Zustand besitzt.

Erst die fortschreitende Vervollkommnung der Instrumente und der Beobachtungsmethoden boten die Mittel, der Lösung dieser Frage näher zu kommen. Acut wurde sie, als im Frühjahr 1885 in Berlin die geographische Breite sich merklich kleiner ergab als ein Jahr vorher. Als dann in den Jahren 1889 und 1890 in Berlin, Potsdam, Prag und Strassburg eine völlig gleichartig verlaufende starke Änderung der geographischen Breite sich zeigte, neigte man in Deutschland schon der Überzeugung zu, dass die Schwankungen der Polhöhe durch Lagenänderungen der Erdaxe im Erdkörper veranlasst werden. Diese Ansicht wurde auch bestätigt, als die in den Jahren 1891/92 auf Honolulu ausgeführten Beobachtungen Marcuse's

[1]) Schiaparelli. Sur la Rotation de la Terre sous l'influence des actions géologiques. St. Petersburg 1889.

das vollständige Spiegelbild der auf der entgegengesetzten Seite der Erde, in Europa angestellten Messungen ergaben.

Seit dieser Zeit war dies Phänomen Gegenstand eifrigen Studiums, sowohl hinsichtlich seiner Beobachtung als auch seiner theoretischen Begründung. Zunächst wurde die Erscheinung auf einer grossen Anzahl von Sternwarten verfolgt, bis vor zwei Jahren ein besonderer internationaler Polhöhendienst, das bis jetzt grösste, gemeinsame Unternehmen der Internationalen Erdmessung, ins Leben trat.

Die 6 Stationen dieses Dienstes, auf denen jetzt in jeder klaren Nacht durch Beobachtung derselben Sterne die geographische Breite ermittelt wird, sind Mizusawa in Japan, Tschardjui am Amu-Darja in Buchara (Centralasien), Carloforte auf San Pietro, einer kleinen Insel westlich von Sardinien, Gaithersburg nordwestlich von Washington, ferner die Sternwarte in Cincinnati und schliesslich die westamerikanische Station bei Ukiah im kalifornischen Küstengebirge. Diese Stationen liegen rund um die Erde herum auf demselben Parallelkreise, innerhalb weniger 100 m meridionalen Unterschieds. Die Auswahl der Stationen ist keine beliebige, sondern ihre Lage ist so getroffen, dass das Zusammenwirken der Stationen die möglichst günstigsten mathematischen Bedingungen für die Bestimmung der Polbewegung bietet. Der Erfolg der geschickten, auf mathematischen Prinzipien beruhenden Auswahl ist auch nicht ausgeblieben, wie die Fortschritte in der Genauigkeit dies konstatiren.

Durch die kegelförmige Verschiebung der Rotationsaxe im Erdkörper beschreiben ihre Enden, das sind die Pole, auf der Erdoberfläche einen Weg, aus dessen Verlauf auf Vorgänge in und auf der Erde geschlossen werden kann. Diese Polbewegung ist nach den Darstellungen von Prof. Albrecht[1]) bald einfacher Natur, bald gestaltet sie sich komplizirter. Im vergangenen Jahre, in dem Zeitraum vom November 1899 bis Januar d. J., für welchen zum ersten Male das Beobachtungsmaterial des internationalen Polhöhendienstes vorliegt, beschrieb der Pol nahezu eine Ellipse in einer Umlaufsdauer von etwa 15 Monaten.[2]) Auf einem kleinen Raume in der

---

[1]) Albrecht, Die Veränderlichkeit der geogr. Breiten. Verhandl. des VII Internat. Geographen-Kongr. in Berlin 1899.

[2]) Albrecht, Resultate des internat. Breitendienstes. Astron. Nachr. Band 156. 1891.

Nähe der Erdpole von $14^1/_2$ m Länge und 8,6 m Breite spielte sich im vergangenen Jahr die Polwanderung ab. Seit ihrer Beobachtung, während nunmehr eines Decenniums, hat sie sich überhaupt niemals über mehr als 16 m erstreckt. So klein diese Bewegungen auch sind, so ist doch der jeweilige Axenpunkt auf der Ellipse bis auf 60 cm genau bekannt, eine Genauigkeit, die für andere astronomische Berechnungen heutzutage erforderlich ist.

Im allgemeinen ist in dieser Polwanderung eine periodische Bewegung zu erkennen, die aber durch Ineinandergreifen mehrerer Perioden von verschiedener Dauer verwickelt wird. In erster Linie lässt sich unter diesen eine Periode von Jahresdauer erkennen, die wesentlich auf meteorologische Einflüsse zurückgeführt werden kann. So tritt unter dem Wechsel der Jahreszeiten auf der Erde eine Umlagerung der Luftmassen ein.[1]) Im Winter findet über den Kontinenten, weil sie kälter sind als die Ozeane, eine Anhäufung von Luftmassen statt, die im Sommer einer Depression Platz macht. Die überschüssigen Luftmassen, welche im Januar über Asien, Europa, Nordafrika und Nordamerika liegen, fliessen allmälich in der Höhe ab, wenn sich mit nach Norden wandernder Sonne die Kontinente der Nordhalbkugel erwärmen, und wir finden sie im Juli über dem atlantischen und pacifischen Ocean, über Australien, Südafrika, Südamerika, den angrenzenden Meeresteilen und wahrscheinlich auch zum Teil in den südlichen Polargegenden wieder. Diese wandernden Luftmassen, die allerdings nicht in allen Jahren gleich gross sind, entsprechen im Durchschnitt einem Gewicht von 14 Billionen Tonnen, gleich einer Masse von 1000 Kubikkilometer Quecksilber, immerhin gegenüber dem ganzen Erdkörper eine noch kleine Masse. Hiezu tritt noch die Wirkung der Massenverlagerung, welche alljährlich durch den Wechsel der atmosphärischen Niederschläge, durch Zu- und Abnahme der polaren Eiskappen, sowie durch Meeresströmungen veranlasst werden. Anfänglich bestand eine weite Kluft zwischen den kleinen von meteorologischen Prozessen herrührenden Wirkungen mit den thatsächlich beobachteten, beträchtlich grösseren Polbewegungen. Diese Kluft wurde aber bald auf Grund theoretischer Untersuchungen durch die Erkenntnis überbrückt, dass solch kleine, aber

[1]) Spitaler, Die Ursache der Breitenschwankungen. Kais. Akad. d. W. Wien 1897.

periodisch wiederkehrenden Massenumlagerungen unter Umständen doch beträchtliche Verschiebungen der Rotationsaxe bewirken können.[1])

Neben der jährlichen Periode enthält die Erscheinung auch eine solche von ungefähr 14monatlicher Dauer. Wäre die Erde ein starrer Körper, so würde nach den Euler'schen Entwicklungen der Pol innerhalb 306 Tagen einen Kreislauf vollenden. Aus der thatsächlichen längeren Dauer seiner Umlaufszeit aber ergeben sich Folgerungen für den Zustand des Erdkörpers überhaupt. Von der Elastizität und Zähigkeit der Erdkruste und des Erdinnern hängt es jedoch ab, wie weit der Erdball fähig ist, gleich jedem um eine beliebige Axe rotirenden Körper, sich auf die Rotationsaxe als Symmetrieaxe einzustellen. Und in dieser Beziehung hat sich ergeben, dass die Erde als Ganzes genommen die Elastizität oder auch die Festigkeit von Stahl angenommen hat.[2]) Durch die mehr oder minder grosse Anpassung des Erdkörpers an die momentane Umdrehungsaxe müssen auch an den Küsten Schwankungen in dem Niveau des Meeres sich zeigen, da dessen Hydrosphäre eine bei weitem grössere Anpassungsfähigkeit besitzt, als das Felsgerüst der festen Erde. Mit anderen Worten, es muss aus der Verschiebung der Rotationsaxe im Erdkörper ein periodisches Auf- und Niedersteigen der Küsten resultiren. Und in der That lassen sich aus langjährigen Beobachtungen der Mareographen an verschiedenen Meeresküsten, wie bei Helder an der Nordsee[3]), bei San Francisco sowie in Pulpit Harbour[4]) an der Westküste Nordamerikas Schwankungen des Meeresniveaus von ähnlicher 14monatlicher Periode nachweisen.

Auch Vorgänge im Erdinnern können eine verlängerte Umlaufsperiode erklären; Vorgänge, ähnlich dem Geyser-Phänomen auf Island, hin- und hergehende Bewegungen loser Massen, seien es Flüssigkeiten oder Materien anderer Natur, in Räumen im Erdinnern, welche durch Kanäle verbunden sind.[5]) Wie weit damit die aus grossen Tiefen kommenden Erdbeben zusammenhängen und etwa in der Polbewegung zu erkennen sind, muss die Zukunft lehren; ebenso auch in wie weit hiermit die Thätigkeit der Vulkane in Verbindung

---

[1]) Radau. Comptes Rendus 1890 u. Helmert, Astron. Nachr. Band 126.

[2]) Thomson u. Tait Treatrise on Natural Philosophy.

[3]) H. G. van de Sande Bakhuyzen, Astron. Nachr. Band 136.

[4]) Christi. The Latitude-Variation Tide. Philos. Soc. of. Washington Vol. XIII. 1899.

[5]) Gyldén, Astron. Nachr. Band 132.

steht, wie z. B. der gewaltige Ausbruch des Krakatau im Jahre 1883, der ringsum den Erdball die selbstregistrierenden Barometer das Erzittern der gesamten atmosphärischen Hülle verzeichnen liess.

Für die Vorzeit ist es schwierig mit hinreichender Sicherheit über die Polbewegung Aussage zu geben, da über den Grad der Zähigkeit der Erdrinde in den vorgeschichtlichen Epochen nur Mutmassungen gemacht werden können; immerhin werden bei der jetzigen Starrheit der Erde die nurmehr kleinen Schwankungen der Erdaxe, wenn solche mit Vorgängen in und auf der Erde in Verbindung gebracht werden können, uns Fingerzeige sein für die Wirkungen ehemaliger grosser geodynamischer Katastrophen. Ob wohl die Erde einen festen innern Kern besitzt und zwischen diesem und der festen äussern Schale eine flüssige Schicht sich befindet? Ob die Erdaxe auch langsam fortschreitende, säkulare Änderungen zeigt? Es ist nicht unwahrscheinlich, dass das fortgesetzte Studium der Polhöhenschwankungen auf diese Fragen die Antwort künftig wird geben können.

Die Untersuchungen über die Schwankungen der Erdaxe bilden eine Epoche von ähnlicher Bedeutung wie zu Newton's Zeiten die dynamischen Betrachtungen über die Figur der Erde. Die Geschichte wird die Entdeckung der Polhöhenschwankungen in gleich ehrender Weise verzeichnen, wie die 200 Jahre früher erfolgte Entdeckung der polaren Abplattung.

Getrieben durch den hochgehenden Pulsschlag unserer rastlos vorwärts strebenden Zeit hat die Internationale Erdmessung durch die grosse Macht wissenschaftlicher Vereinigung und unterstützt durch die Vervollkommnung von Instrumenten und Methoden, in verhältnismässig kurzer Zeit, diese so bedeutenden Fortschritte in der Erforschung der Entwicklung und Wandlung der Erde gezeitigt. Den Bedingungen nachzuforschen, unter welchen die heutige Gestalt unserer Mutter Erde sich bildete, unter denen die Wandlungen unseres Planeten sich vollziehen, das, allerdurchlauchtigste, hochansehnliche Versammlung, sind die neueren Ziele der höheren Geodäsie.






UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 112076960